مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) بر مبنای رویه ارزیابی چندمعیاره (MCE) در حوضه جنوبی دریای خزر

- **داریوش آشتاب:** گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- **مهدی غلامعلی‌فرد*:** گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- **نعمت‌الله محمودی:** گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: آذر ١٣٩٥ تاریخ پذیرش: اسفند ١٣٩٥

چکیده

تخریب زیستگاه یکی از تهدیدات جدی در احیای ذخایر ماهی‌هاست و می‌تواند بازده صید تجاری در مناطق ساحلی را با خطر جدی روبه‌رو کند و از طرفی مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، به‌عنوان یک راه‌حل عملی برای حفظ و حمایت اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌های دریایی است. در این پژوهش به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر براساس معیارهای عمق، غلظت کلروفیل سطحی، تابش فعال فتوسنتزی، تغییرات تراز آب و دمای سطحی آب پرداخته شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیش‌ترین میزان مطلوبیت زیستگاهی ماهی سفید در بخش غربی حوضه جنوبی دریای خزر (اندکس‌های ٢٤، ٢٥ و ١٥) می‌باشد و فاکتورهای عمق و غلظت کلروفیل بیش‌ترین تأثیر را در مدل‌سازی داشته است. نتایج ارزیابی صحت سناریوهای وزنی نیز نشان داد که در بهترین سناریو میزان ROC برابر با ٠/٦٩ بوده که براین اساس پیشنهاد می‌شود خروجی این‌کار به‌عنوان معیاری برای انتخاب مناطق حفاظت شده دریایی و مکان‌یابی مناطق پرورش در قفس و دیگر مدل‌های خدمات اکوسیستمی در بخش جنوبی دریای خزر مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: ماهی سفید، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، ارزیابی چندمعیاره (MCE)، حوضه جنوبی دریای خزر

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.gholamalifard@modares.ac.ir

مقدمه

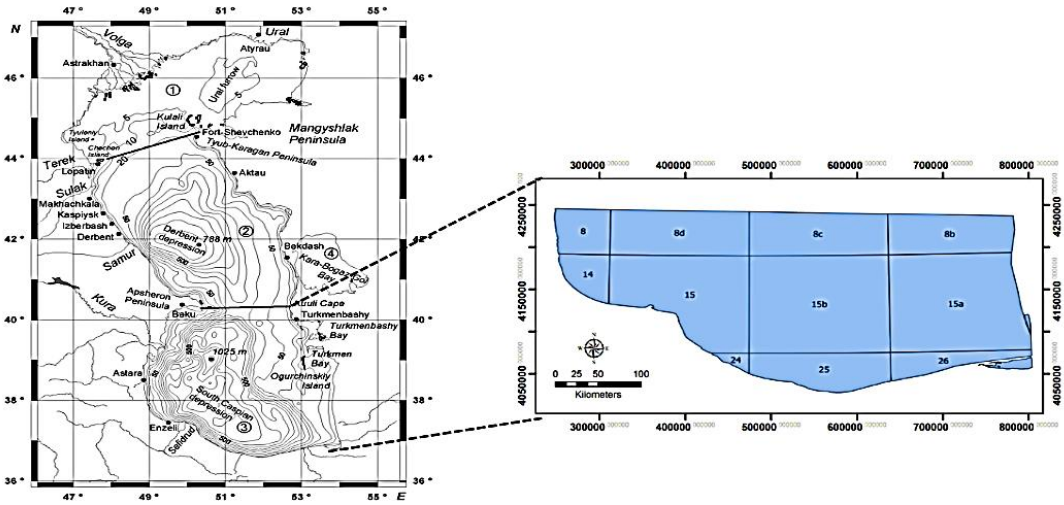
تخریب زیستگاه یکی از تهدیدات جدی در احیای ذخایر ماهی‌ها است (Hall، ۱۹۹۸) و می‌تواند بازده صید تجاری در مناطق ساحلی را با خطر جدی روبه‌رو کند (Crec'hriou و همکاران، ۲۰۰۸). اخیراً برنامه‌ریزی مکانی اکوسیستم پایه دریا[۱](Foley و همکاران، ۲۰۱۰) و مدیریت اکوسیستم پایه[۲] (Pikitch و همکاران، ۲۰۰۴)، کانون توجهات علمی قرار گرفته است. برنامه‌ریزی مکانی دریاها، توزیع مکانی فعالیت‌ها در دریا را پایش نموده و از این طریق به حفظ و حمایت اکوسیستم‌ها می‌پردازد. ارزیابی و مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، به‌عنوان یک راه‌حل عملی برای رسیدن به این هدف است چرا این‌که نابودی زیستگاه به‌عنوان اصلی‌ترین عامل تهدیدکننده گونه می‌باشد (Mack و همکاران، ۱۹۹۷؛ Anderson و همکاران، ۲۰۰۰) که از سال ۱۹۷۰ تاکنون در مدیریت سرزمین (آب و زمین) مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Bartoszewicz و همکاران، ۲۰۰۸). مهم‌ترین روش‌های مدل‌سازی زیستگاه گونه براساس داده‌های تعلیمی (حضور،عدم حضور و فراوانی گونه) عباتند از:۱. مدل بدون داده تعلیمی، ۲. با داده‌های حضور گونه، ۳. نیازمند داده‌های حضور و عدم‌حضور و ۴. مدل نیازمند فراوانی گونه تقسیم می‌شوند. مدل‌هایی که برای انجام مدل‌سازی نیازمند فقط داده‌های حضور هستند عبارتند از ۱. Mahalanobis Typicality، ۲. Weighted Mahalanobis Typicality و ۳. Maxent. مدل‌های نیازمند داده‌های حضور و عدم حضور شامل: ۱. رگرسیون لوجستیک[۳] و ۲. شبکه عصبی پرسپترون[۴] بوده و مدل نیامند داده فراوانی رگرسیون چندگانه[۵] می‌باشد (Eastman، ۲۰۱۵). تمامی مدل‌های گفته شده برای انجام مدل‌سازی نیازمند داده‌های پراکنش و حضور می‌باشدولی در اکثر موارد به‌دلیل فقر اطلاعات از نحوه پراکنش گونه‌ها تهیه این داده‌ها به‌خصوص در مورد گونه‌های نادر اغلب پرهزینه و زمان‌بر است. یک راه‌حل برون رفت از این مشکل، استفاده از اطلاعات موجود درباره شرایط اکولوژیکی بوده و این کار در مواردی استفاده می‌شود که مدل‌هایی برپایه اطلاعات عینی در دسترس نباشد (مومنی، ۱۳۹۰) که روش ارزیابی چندمعیاره ازجمله این مدل‌هاست (Eastman، ۲۰۱۵). در این روش برای تعیین بهترین مناطق زیست گونه براساس معیارهای به‌کاررفته، به‌طور هم‌زمان بهترین گزینه و مناسب‌ترین شرایط انتخاب می‌شود. ارزیابی چندمعیاره مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی[۶] معمولاً شامل مجموعه معیارهای مکانی (نقشه‌ها) است که با مقادیر ارزیابی ترکیب می‌شوند. به‌طورکلی روش ارزیابی چند معیاره شامل سه رویه اصلی روی هم‌گذاری بولین، ترکیب خطی وزنی[۷] و میانگین وزنی مرتب[۸] می‌باشد (Eastman، ۲۰۱۵). روش ارزیابی چندمعیاره بیش از دو دهه است که در انجام مدل‌سازی زیستگاه گونه در خشکی (Mehri و همکاران، ۲۰۱۴؛ Paudel و همکاران،۲۰۱۵) و به‌طورخاص برای گونه‌های دریایی مانند پستانداران دریایی (MacMillana و همکاران، ۲۰۱۶) و ماهیان مورد استفاده قرار گرفته است. درخصوص مدل‌سازی زیستگاه ماهیان، مطالعه‌ای Sparrevohn و همکاران (۲۰۰۸) روی دریای بالتیک انجام داده‌اند که به شناسایی مطلوبیت زیستگاهی ۵ گونه ماهی پلاژیک انجام شده است. نتایج این مدل نشان داد که مدل ارزیابی چندمعیاره روش مناسبی برای شناسایی زیستگاه گونه‌های ماهی می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر Granados-Dieseldorff (۲۰۰۹) به مطالعه مطلوبیت زیستگاهی ماهی *Lutjanus analis* در سواحل برزیل پرداخت. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که این مدل کارایی مناسب برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاهی گونه‌های دریایی را دارد. درخصوص روش ترکیب خطی وزنی (WLC)، در مطالعات مختلفی برای بررسی سرزمین برای مطلوبیت یک کاربری مورد بررسی قرار گرفته است. ازجمله این مطالعات موسوی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای با استفاده از این روش به ارزیابی توان منطقه برای کاربری تفرج پرداخت. Mahini و Gholamalifard (۲۰۰۶) با به‌کارگیری این روش به مکان‌یابی لندفیل در شهر گرگان پرداختند. در این مطالعه از روش WLC و روش وزن‌دهی AHP استفاده نمودند. روش ترکیب خطی وزنی (WLC)، یکی از روش‌های متداول در ارزیابی چندمعیاره است که کاربرد وسیعی در GIS پیدا کرده است و در فرآیند ارزیابی و مطلوبیت مناطق بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد (مسعودی و همکاران، ۱۳۹۰). در این روش هر معیار استاندارد شده در وزن متناظر آن ضرب شده و نتایج تمامی فاکتورها با یکدیگر جمع و بر تعداد معیارها تقسیم می‌شوند (موسوی، ۱۳۸۹). در مطالعه حاضر با به‌کارگیری از روش ارزیابی چندمعیاره AHP و WLC و توابع عضویت فازی به مدل‌سازی مطلوبیت ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: دریای خزر بزرگ‌ترین بستر آبی بسته جهان با مساحتی حدود ۳۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع بوده (Saravi

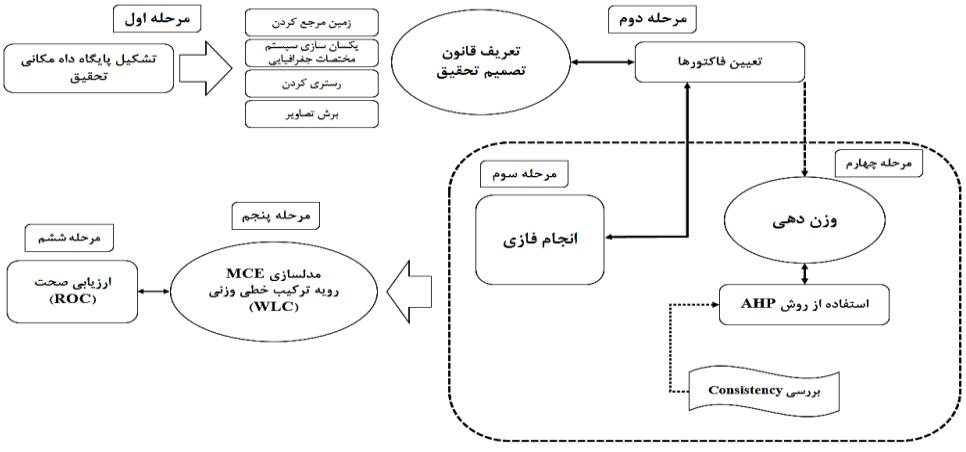
۱ MSP- Marine Spatial Planning
۲ EBM- Ecosystem-Based Management
۳ Logistic Regression
۴ MLP Neural Network
۵ Multiple Regression
۶ GIS-Geographic Information System
۷ WLC-Weighted Linear Combination
۸ OWA-Ordered Weighted Averaging

Nasrollahzadeh و همکاران، ۲۰۰۸) که دارای اهمیت‌های سیاسی، اقتصادی و محیط‌زیستی در منطقه می‌باشد (Nasrollahzadeh، ۲۰۱۰). حوضه جنوبی دریای خزر که گستره خانه ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) را تشکیل می‌دهد که دارای حداکثر عمق ۱۰۲۵ متر (۱۱، ۳۶)، شوری بین ۱۰ تا ۱۳ درصد و دمای ۹/۹ تا ۲۸/۶درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Saravi Nasrollahzadeh و همکاران، ۲۰۰۸؛ Taheri و همکاران، ۲۰۱۲). منطقه مورد مطالعه، حوضه جنوبی دریای خزر بوده که بین عرض‌های جغرافیایی "۳۵ '۵۴ °۴۸ و "۵۴ '۵۴ °۵۱ قرار دارد (شکل ۱). این منطقه حدود ۱۸۷۰۰ کیلومتر مربع مساحت داشته و به‌عنوان منطقه اصلی صید ماهی سفید در سواحل ایران می‌باشد (Vayghan و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه براساس اندکس‌های سازمان نقشه‌برداری در مقایس ۱:۲۵۰۰۰ نمایش داده شده است (Kostianoy و Kosarev، ۲۰۰۵)

روش‌شناسی تحقیق: مراحل انجام تحقیق حاضر مطابق شکل ۲ انجام شده است. در مرحله اول پایگاه داده تشکیل شده و پس از آن به فازی‌سازی فاکتورهای تعیین شده در قانون تصمیم با استفاده از توابع عضویت فازی[1](جدول ۲) در مرحله دوم و سوم پرداخته شده است. در مرحله چهارم سناریوهای مختلف وزنی بر مبنای فرآیند سلسه مراتبی تحلیلی[2]تعیین می‌شود در مرحله پنجم به مدل‌سازی با به‌کارگیری ارزیابی چند معیاره پرداخته می‌شود و در مرحله نهایی صحت سنجی مدل انجام می‌شود.



شکل ۲: مراحل انجام تحقیق

[1] Fuzzy Membership Function

[2] AHP-Analytical Hierarchy Process

تهیه پایگاه داده مکانی: پایگاه داده‌های مکانی نیاز اولیه تشخیص، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است. به‌منظور تشکیل پایگاه داده مورد نیاز برای انجام پژوهش از لایه‌های رقومی موجود و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. ابتدا با انجام اصلاحاتی مانند رقومی کردن داده‌ها، یکسان کردن اندازه سلول‌ها، یکسان کردن سیستم مختصات جغرافیایی و برش تصویر بر روی داده‌های اولیه، لایه‌ها تهیه شدند.

معیارهای قانون تصمیم تحقیق: در ادامه توضیحاتی در مورد دلایل انتخاب معیارهای قانون تصمیم (جدول ۱) تحقیق ارائه گردیده است.

عمق (Depth): ماهی سفید یک ماهی رودکوچ است که پس از تخم‌ریزی در رودخانه در فصل بهار به دریا بازگشته و در سواحل کم عمق و غنی از تولیدات جانوران کف‌زی به تغذیه و رشد می‌پردازد. با افزایش دمای آب در فصل تابستان و تشکیل هم‌دمایی در لایه اپی‌لیمنیون تا عمق ۳۳ متری، به لایه ترموکلاین مهاجرت می‌کنند. در پاییز نیز با شروع چرخش پائیزه به سواحل کم عمق و کم‌تر از ۱۳ متر برمی‌گردد. در زمستان نیز با سردشدن لایه سطحی آب و لایه‌بندی حرارتی به قسمت‌های عمق تا حدود ۱۳۳ متر مهاجرت می‌کند (ولی‌پور و خانی‌پور، ۱۳۸۸). به‌طور معمول این گونه بخشی از دوره زندگی خودرا در اعماق بالاتر از ۱۰۰ متر می‌گذراند. ماهی سفید به‌دلیل کاهش مواد غذایی در این اعماق که در نتیجه افزایش فشار رقابتی از سوی ماهیان خاویاری، نمی‌تواند به‌مدت زیادی را در این اعماق به زندگی ادامه دهد (Karpinsky، ۲۰۱۰؛ Vayghan و همکاران، ۲۰۱۳). از این رو مطالعه حاضر به عمق کم‌تر از ۲۰۰ متر توجه داشته است.

غلظت کلروفیل سطحی (Chla): این فاکتور به‌عنوان شاخصی برای نشان‌دادن نقاط داغ (Hotspot) حاصل‌خیز و مناطق با تولید بالا در دریاها بوده (Valavanis، ۲۰۰۲؛ ۲۰۰۴؛ ۲۰۰۸) که به‌طور غیرمستقیم بر تولیدات جانوران کف‌زی مؤثر خواهد بود. زمانی‌که ماهی سفید در فصل بهار به‌دلیل مهاجرت از رودخانه به دریا، تغذیه شدیدی را شروع می‌کند، ممکن است به‌طور غیرمستقیم تحت تاثیر این فاکتور قرار داشته باشد.

جدول۱: معیارهای مورد استفاده برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی سفید

معیار	سنسور (sensor)	واحد	منبع تهیه
دمای سطح آب (SST)	MODIS	درجه سانتی‌گراد	http://oceancolor.gsfc.nasa.gov
غلظت کلروفیل سطح آب (Chla)	MODIS	میلی‌گرم بر متر مکعب	http://oceancolor.gsfc.nasa.gov
تابش فعال فتوسنتزی (PAR)	MODIS	میکرومول بر مترمربع بر ثانیه	http://oceancolor.gsfc.nasa.gov
تغییرات تراز آبی (SLA)	Jason-1	سانتی‌متر	http://www.aviso.altimetry.fr
عمق سنجی	_	متر	براساس داده‌های هیدروگرافی سازمان نقشه‌برداری تولید شده

تابش فعال فتوسنتزی (PAR): این پارامتر کنترل کننده رشد فیتوپلانکتون‌هاست و از این طریق در راستای غلظت کلروفیل بوده و رشد سخت‌پوستان، ماهی‌ها و دیگر موجودات دریا را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Frouin و Murakami، ۲۰۰۷) و از آن‌جاکه ماهی سفید که بیش‌ترین تغذیه آن پس از مهاجرت به دریا، از سخت‌پوستانی مانند دوکفه‌ای‌هاست (ولی‌پور و خانی‌پور، ۱۳۸۸) می‌تواند تحت تاثیر این فاکتور قرار داشته باشد.

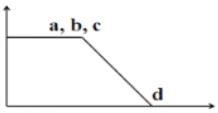
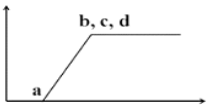
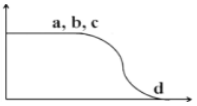
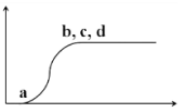
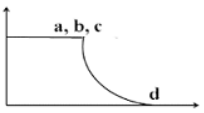
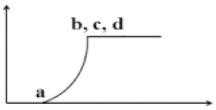
تغییرات تراز آبی (SLA): نشان‌دهنده میانگین تغییرات سطحی آب به بالا و پایین بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. این پارامتر تحت تأثیر پدیده‌هایی مانند فرارانشی[1] جیر[2] و جریان‌های گردابی خلاف عقربه‌های ساعت[3] بوده که این پدیده‌ها نشان‌دهنده مکان‌های حاصل‌خیز در دریاها می‌باشد (Eckert و همکاران، ۲۰۰۸). ماهی سفید در فصل مهاجرت به دور از ساحل ممکن است تحت تأثیر این پارامتر قرار داشته باشد.

دمای سطحی آب (SST): دمای آب انتخاب شد زیرا هر گونه برای شرایط دمایی خاصی سازگاری پیدا کرده است (Stevick و همکاران، ۲۰۰۲؛ Roberts و همکاران، ۲۰۱۰). ماهی سفید با توجه تغییرات دمایی، مهاجرت خود به رودخانه برای تولیدمثل و هم‌چنین مهاجرت به مناطق دور از ساحل و جابه‌جایی‌های عمقی را شروع می‌کند (عبدلی و نادری، ۱۳۸۷).

فازی‌سازی معیارها: در این مرحله معیارها براساس توابع جدول ۲ فازی گردید.

[1] Upwelling
[2] Gyre
[3] Cyclonic Eddies

جدول ۲: روابط فازی معیارهای قانون تصمیم تحقیق (a، b، c و d نقاط کنترل توابع فازی می‌باشند در واقع این نقاط تعیین‌کننده نقطه عطف در استانداردسازی می‌باشند)

نوع تابع	شکل توابع فازی	روابط تعیین کننده مقدار عددی توابع در هر پیکسل	منبع
تابع خطی (L)		$X_i = \left(۱ - \frac{(R_i - c)}{(d - c)}\right) \times standardized_range$	Birol و همکاران، ۲۰۱۰؛ Ouraji و همکاران، ۲۰۱۱
		$X_i = \left(\frac{R_i - a}{b - a}\right) \times standardized_range$	
تابع سیگموئیدی (S شکل)		امتیاز هر پیکسل قبل از اعمال فازی و standardized range دامنه فازی $\mu = \cos\alpha \times ۲۵۵$ $\alpha = \frac{(x - c)}{(d - c)} \times \frac{pi}{۲}$	Birolو همکاران، ۲۰۱۰
		$\alpha = \left(\frac{(x - c)}{(d - c)}\right) \times \frac{pi}{۲}$	
		cنقطه کنترل اول و d نقطه کنترل دوم ، pi معادل عدد ۱۴۱۵۹/۳	
تابع J شکل		$\mu = \frac{۱}{۱ + \frac{(x - c)^۲}{(d - c)}} \times ۲۵۵$	Schmucker،۱۹۸۲ ؛ Burrough، ۱۹۸۹؛ Birol و همکاران، ۲۰۱۰؛
		$\mu = \frac{۱}{۱ + \frac{(x - b)^۲}{(b - a)}} \times ۲۵۵$	

سناریوهای وزنی: وزن فاکتور یا وزن جبران، به‌تمامی فاکتورها اختصاص یافته و چگونگی جبران و جاگزینی بین فاکتورها را کنترل می‌کند(Eastman، ۲۰۱۲). روش AHP با ساختاردهی مسائل در قالب سلسله مراتبی به حل آن‌ها می‌پردازد. این روش برای ارزش‌دهی، یا رتبه‌بندی یک دسته از گزینه‌ها استفاده می‌شود. از این‌رو از این روش وزن‌دهی معیارهای قانون تصمیم تحقیق حاضر، روش مقایسه دو به دو توسعه یافته توسط Saaty (۱۹۸۷) می‌باشد. در این روش وزن‌دهی در یک مقیاس پیوسته ۱ تا ۹ انجام شده به‌طورکه مقدار یک نشان دهنده اهمیت برابر و مقدار ۹ نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد می‌باشد (مالچفسکی، ۱۳۹۲). هم‌چنین شاخص عددی پایندگی یا سازگاری، برای بررسی ناسازگاری ماتریس دو به دو استفاده شده است که پس از محاسبه آن، ماتریس‌هایی که نرخ CR آن‌هابیش‌تر از ۰/۱ باشد باید مورد ارزیابی مجدد قرار گرفته و مقدار کم‌تر از ۰/۱ در روند تعیین زون معیارها شرکت داده می‌شوند (Saaty، ۱۹۸۰). برای انتخاب درست وزن‌دهی به هر معیار، سناریوهای مختلف وزنی ایجاد گردید تا تأثیر هر معیار به درستی در مدل‌سازی صورت پذیرد. در واقع این سناریوها نشان‌دهنده، میزان اهمیت هر یک از معیارها در تصویر نهایی می‌باشد و چه مقدار در مطلوبیت زیستگاه گونه تأثیرگذار است. برای این منظور در هر سناریو چینش اهمیت در تحلیل سلسه مراتبی به‌صورتی انجام شده تا معیارها در هر سناریو به لحاظ وزنی با سناریو بعدی کم‌ترین هم‌پوشانی را داشته باشد (جدول۳):

سناریوی اول: در این سناریو وزن تمامی معیارها برابر درنظر گرفته شده است. سناریوی دوم: بیش‌ترین‌وزن معیار به کلروفیل و عمق داده شده‌است.سناریوی‌سوم:بیش‌ترین‌وزن معیار به تابش فعال فتوسنتزی و کلروفیل داده شده است. سناریوی چهارم: بیش‌ترین وزن معیار به دمای سطحی آب و تغییرات تراز آبی داده شده است.

سناریوی‌پنجم: بیش‌ترین وزن معیار به بین سه معیار غلظت کلروفیل، تغییرات تراز آبی و دمای سطح آب تقسیم شده است.

جدول ۳: سناریوهای وزنی برای رسیدن به بالاترین صحت

سناریو	عمق	غلظت کلروفیل سطحی	تابش فعال فتوسنتزی	تغییرات تراز آبی	دمای سطحی آب	CR
سناریوی ۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰
سناریوی ۲	۰/۵۲۰۱	۰/۲۲۹۲	۰/۰۸۵۶	۰/۰۸۵۶	۰/۰۷۹۷	۰/۰۲
سناریوی ۳	۰/۱۳۰۴	۰/۳۹۱۳	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۳۵	۰/۰۴
سناریوی ۴	۰/۱۳۰۴	۰/۰۴۳۵	۰/۳۹۱۳	۰/۳۹۱۳	۰/۳۹۱۳	۰/۰۱
سناریوی ۵	۰/۱۰۰۸	۰/۲۱۴۵	۰/۱۲۱۷	۰/۲۸۱۵	۰/۲۸۱۵	۰/۰۴

مدل‌سازی ارزیابی چندمعیاره (MCE): رویه ترکیب خطی وزنی به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد که در آن وزن فاکتور درمعیارها اعمال و همه معیارها در وزن فاکتور (وزن جبران) ضرب می‌شود (Eastman، ۲۰۱۲؛ مالچفسکی، ۱۳۹۲).

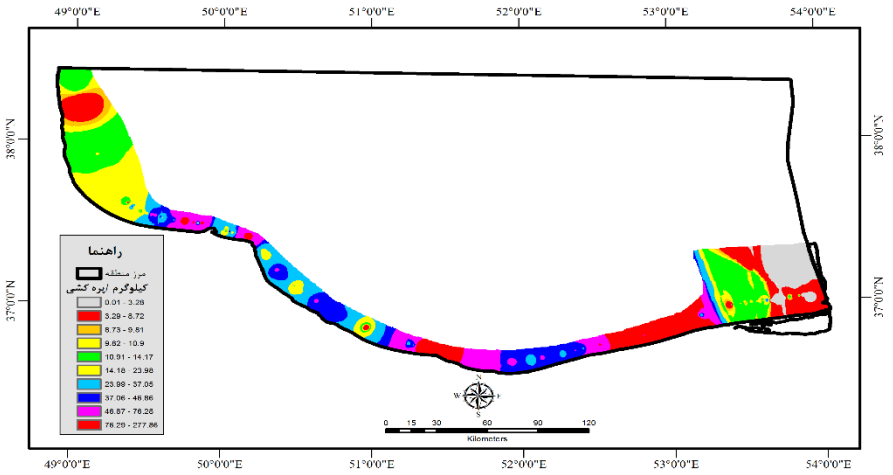
رابطه (۱):
$$s = \sum W_i \times X_i$$

که در این رابطه، S نشان‌دهنده میزان مطلوبیت، W_i نشان‌دهنده وزن فاکتور i و X_i امتیاز معیار در فاکتور i می‌باشد.

ارزیابی صحت: ارزیابی صحت برمبنای شاخص منحنی عملیاتی دریافت‌کننده[۱] انجام شد. آماره ROC مشتق شده از جدول توافقی[۲] براساس مقایسه تصویر شبیه‌سازی شده[۳] با تصویر مرجع[۴] است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$AreaUnderCurve = \sum_{i=1}^{n}[x_{i+1} - X_i] \times [y_i + (y_{i+1} - y_i)/2]$$

در پژوهش حاضر براساس داده‌های میانگین صید صیدگاه‌ها در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ برای ارزیابی صحت استفاده شده است (شکل ۳).



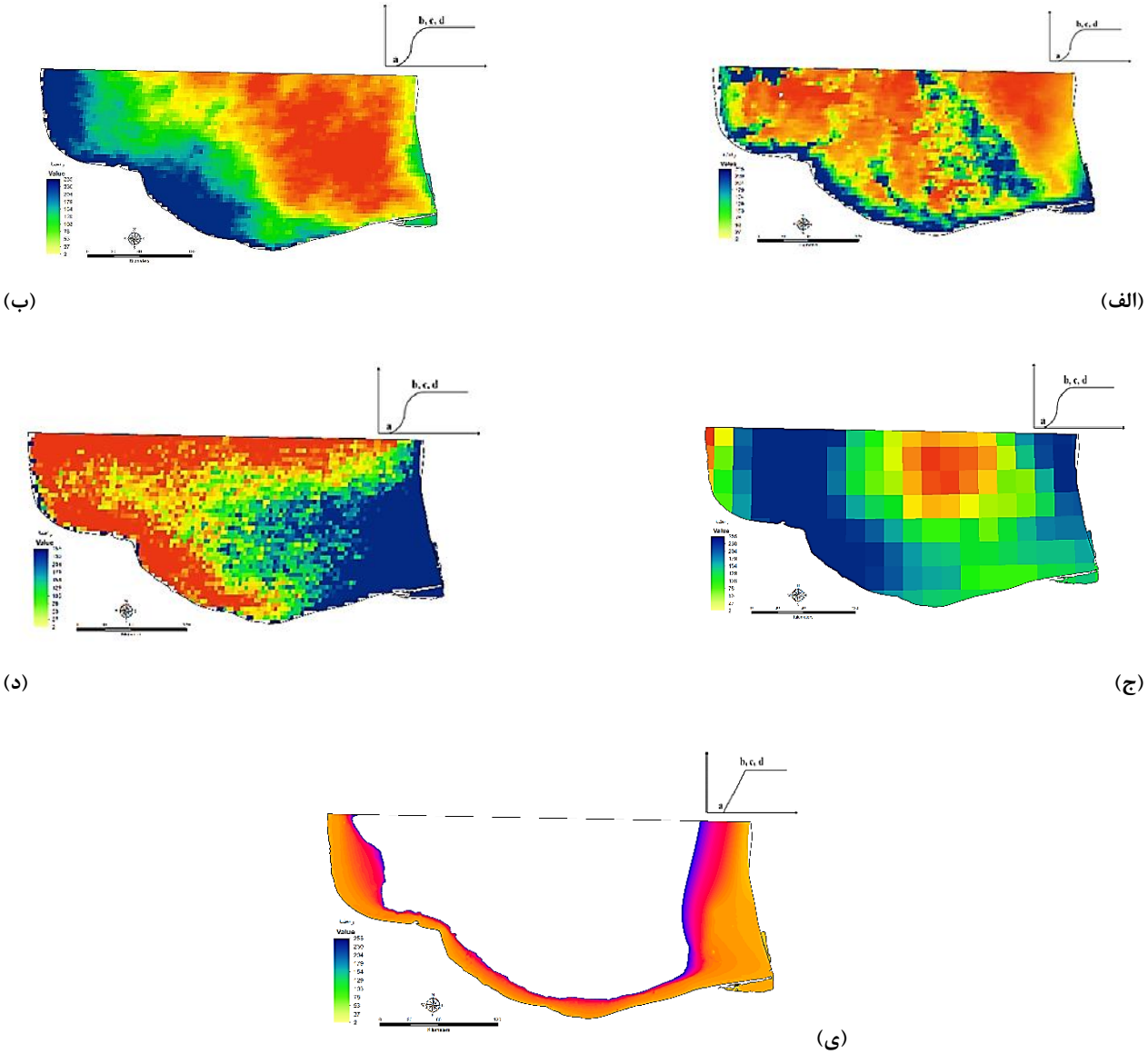
شکل ۳: میانگین میزان صید ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر در سال بهره‌برداری ۹۴-۹۳ (سازمان شیلات کشور)

بررسی میزان تاثیر هر معیار: در مرحله نهایی میزان تاثیر معیارها در مطلوبیت نهایی بررسی کرده که برای این منظور میزان همبستگی هر معیار را با تصویر نهایی محاسبه شده است. برای این منظور از ضریب همبستگی پیرسون (r) استفاده شده است. ضریب خطی همبستگی پیرسون، ارتباط بین مقادیر پیکسل‌های دو تصویر را به‌دست آورده و جهت ارتباط را نشان می‌دهد و به همین دلیل از آن برای تحلیل همبستگی بین معیارها با تصویر مطلوبیت نهایی استفاده شده است.

نتایج

فازی‌سازی معیارها: تصاویر فازی معیارها به همراه شکل و نوع تابع عضویت فازی مورد استفاده در هر معیار در شکل ۲ ارائه شده است.

[۱] ROC-Relative OperatingCharacteristic
[۲] Contingency Tables
[۳] Simulated Image
[۴] Reference Image

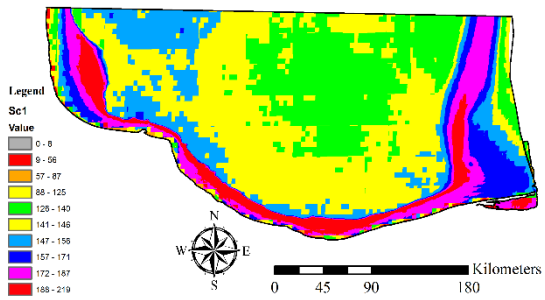


شکل ۳: تصاویر خروجی فازی معیارهای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه ماهی سفید، الف) غلظت کلروفیل سطح آب، ب) تابش فعال فتوسنتزی، ج) تغییرات تراز آبی، د) دمای سطح آب، ی) عمق سنجی

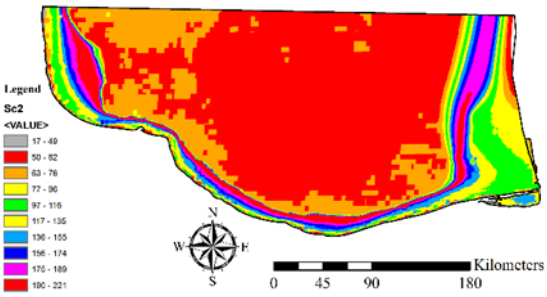
سناریوهای وزنی: در این‌مرحله سناریوهای مختلف وزنی ایجاد و بررسی گردید (جدول ۳). سپس لایه‌ها با سناریوهای وزنی مختلف با به‌کاگیری رویه ترکیب خطی وزنی (WLC) با هم ادغام شده و برای هر سناریو یک نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه به‌دست آمد (شکل ۴).

ارزیابی صحت: برای رسیدن به بهترین صحت نیاز در بین سناریوهای وزنی اجرا شده، تمامی نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه گونه حاصل از سناریوهای وزنی با داده‌های صید سازمان شیلات کشور صحت سنجی شد. به این صورت که، برای هر یک از سناریوهای وزنی مقدار شاخص ROC محاسبه شده (شکل ۵) و بهترین سناریو انتخاب شد (شکل ۶). بالاترین میزان ROC مربوط به سناریو ۱ بوده که میزان این شاخص ۰/۶۹ به‌دست آمده است (شکل ۵). مقدار شاخص ROCرا براساس نقاط با بیش‌ترین میزان صید در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ با نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی سفید به دست آمده است.

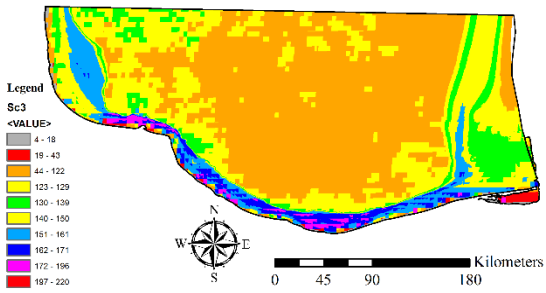
نقشه نهایی حاصل از مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر که دارای بالاترین میزان ROC بوده در شکل ۶ نمایش داده شده است. نتایج این مرحله نشان داد که اندکس‌های ۲۴، ۲۵ و ۱۵دارای بالاترین و اندکس‌های 8c و 15b کم‌ترین میزان مطلوبیت را داشته است (جدول ۴).



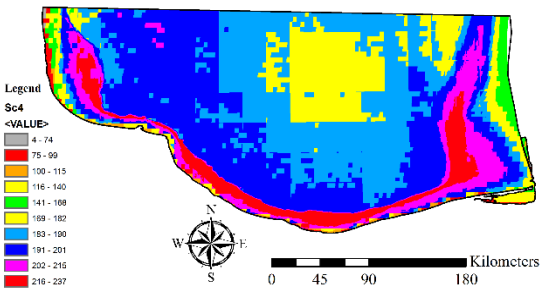
سناریوی ۱



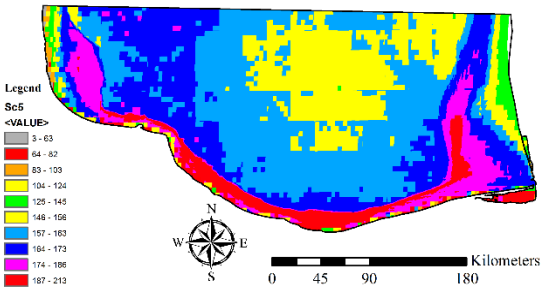
سناریوی ۲



سناریوی ۳

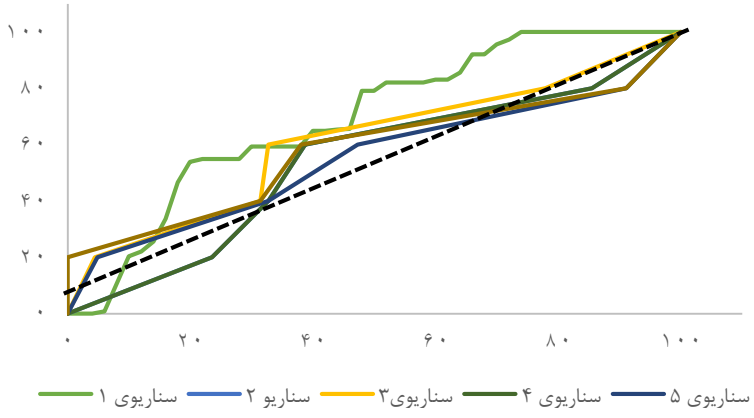


سناریوی ۴

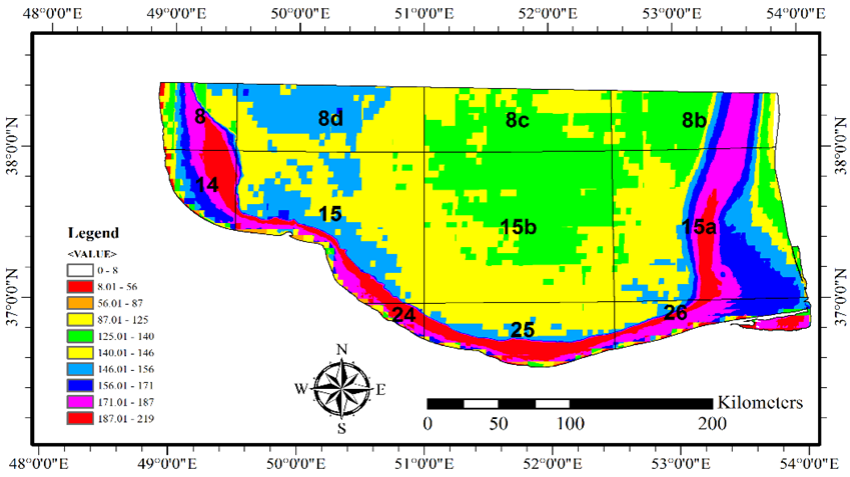


سناریوی ۵

شکل ۴: خروجی روش WLC برای از سناریوهای وزنی مختلف



شکل ۵: شاخص ROC برای سناریوهای وزنی مختلف



شکل ۶: مناطق مطلوب زیستگاهی ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر

جدول ۴: مطلوبیت زیستگاهی ماهی سفید در اندکس‌های مختلف

شماره اندکس	حداقل	حداکثر	میانگین
۸c	۰	۱۲۴	۹۵/۵۵
۲۵	۰	۱۸۲	۱۱۹/۰۲
۱۵b	۸۴	۱۳۱	۹۷/۸۷
۸b	۰	۱۵۱	۹۶/۷۵
۲۶	۰	۱۶۴	۱۰۶/۶۹
۱۵a	۰	۱۷۰	۱۰۳/۳۲
۸d	۰	۱۵۰	۹۹/۵۶
۲۴	۰	۱۸۲	۱۴۱/۷۴
۱۴	۰	۱۵۳	۱۱۱/۶۷
۱۵	۰	۱۸۹	۱۱۲/۵۱
۸	۰	۱۸۰	۱۱۰/۹۹

بررسی تاثیر هر معیار: نتایج این بخش نشان داد که میزان مطلوبیت زیستگاهی ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر بیش‌ترین وابستگی را به پارمترهای عمق و غلظت کلروفیل سطحی دارد و به نسبت تاثیر پارامترهای دیگر کم‌تر می‌باشد (جدول ۵).

جدول۵: ضریب هبستگی بین هریک از معیارها با تصویر مطلوبیت نهایی

معیار	ضریب همبستگی (r)
عمق	۰/۴۳
غلظت کلروفیل سطحی	۰/۴۱
تابش فعال فتوسنتزی	۰/۲۹
دمای سطحی آب	۰/۱۵
تغییرات تراز آبی	۰/۰۵

بحث

نتایج خروجی این مدل نشان می‌دهد بیش‌ترین میزان مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی سفید در بخش غربی حوضه جنوبی دریای خزر (اندکس‌های ۲۴، ۲۵ و ۱۵) می‌باشد که این نتایج با گزارش ولی‌پور و خانی‌پور(۱۳۸۸)، Vayghan و همکاران (۲۰۱۳) و فضلی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. در خصوص پارامترهای تأثیرگذار در مطلوبیت زیستگاه ماهی سفید تحقیق حاضر نشان می‌دهد که فاکتور عمق و کلروفیل بیش‌ترین تاثیر را در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر دارد که این نتایج نیز با مطالعه Vayghan و همکاران (۲۰۱۳؛ ۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد. در این خصوص با توجه به این‌که این گونه در حوضه‌جنوبی دریای خزر بخشی از دوره زندگی خود را (فصل زمستان) در اعماق بالاتر از ۱۰۰ متر می‌گذراند و سپس به‌دلیل کاهش مواد غذایی که در نتیجه افزایش فشار رقابتی از سوی ماهیان خاویاری است، نمی‌تواند به‌مدت زیادی را در این اعماق به زندگی ادامه دهد (Bani و همکاران، ۲۰۱۱؛ Karpinsky، ۲۰۱۰؛ Vayghan و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین ارزش بالای مطلوبیت در نقشه نهایی در عمق‌های بالا (۱۰۰ تا ۲۰۰) احتمالاً در ارتباط با زیستگاه زمستانه ماهی سفید می‌باشد. هم‌چنین این گونه از نظر رژیم غذائی جزء ماهیان همه چیزخوار بوده ولی برخلاف سایر ماهیان همه چیزخوار به‌دلیل کوتاه بودن طول روده دارای طیف غذایی محدودی می‌باشد و از انواع پلانکتون‌های گیاهی و جانوری و لارو حشرات به عنوان غذای آغازین استفاده می‌نماید ولی پس از رسیدن به وزن بالاتر و در مراحل پس از مهاجرت به دریا عمدتاً از صدف‌های دوکفه‌ای تغذیه می‌نماید (ولی‌پور و خانی‌پور، ۱۳۸۸). همان‌طوری‌که بیان شد غلظت کلروفیل و تابش فعال فتوسنتزی می‌تواند رشد سخت‌پوستان

را تحت تاثیر داشته باشد که افزایش میزان این پارامتر در مطالعه حاضر می‌تواند در رابطه با مناطق تغذیه ماهی سفید باشد.

روش ارزیابی چندمعیاره جز روش‌های بدون داده‌های تعلیمی (حضور، عدم‌حضور و فراوانی گونه) بوده و براساس داده‌های اکولوژیکی و زیستگاهی پایه، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه را انجام می‌دهد (Eastman، ۲۰۱۵). از آن‌جایی‌که نمونه‌برداری یک امر پرهزینه و وقت‌گیر در مرحله اولیه برای انجام پژوهش‌های مربوط به تهیه نقشه‌های پراکنش گونه می‌باشد لذا این روش یک روش بهینه برای انجام مطالعات اولیه برای گونه‌ها می‌باشد. نتایج صحت‌سنجی مدل نشان می‌دهد که خروجی این مدل دارای صحت قابل اعتمادی (میزان عدد ROCبرابر با ۰/۶۹) می‌باشد که این نتایج نشان می‌دهد که روش ارزیابی چندمعیاره برمبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در شناسایی مناطق مطلوب زیستگاهی ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر مفید باشد. از طرفی ماهی سفید، مهم‌ترین ماهی استخوانی و بومی دریای خزر است (رضوی‌صیاد،۱۳۷۴؛امینیان‌فتیده‌وهمکاران، ۱۳۷۸) که سازمان شیلات کشور برای مبارزه با صید بی‌رویه و احیای ذخایر طبیعی آن، هر سال حدود ۲۰۰ میلیون بچه ماهی را در رودخانه‌های شناسایی شده رها می‌کند (Abdolhay و همکاران، ۲۰۱۱؛ Ouraji و همکاران، ۲۰۱۱؛ Fazli و همکاران، ۲۰۱۲). بررسی‌ها نشان داده که برای موفقیت برنامه‌های احیا، نیاز به درنظر گرفتن بررسی‌های اکولوژیکی مانند شرایط زیستگاهی و مطلوبیت مکانی گونه می‌باشد (Vayghan و همکاران، ۲۰۱۳) بنابراین پیشنهاد می‌شود از نتایج این تحقیق به عنوان یکی از معیارهای شناسایی مناطق حفاظت شده دریایی[1] در دریای خزر مورد استفاده اجرایی قرار گیرد و به حفاظت این گونه و سایر آبزیان به‌صورت اکوسیستم پایه در حوضه جنوبی دریای خزر پرداخته شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود مطالعات اکولوژیکی گونه مانند رفتار مهاجرتی، زیستگاه آن در رودخانه‌های محل زیست گونه بیش‌تر پرداخته شود. هم‌چنین استفاده از روش‌های آماری مانند جنگل تصادفی[2] یا شبکه عصبی مصنوعی[3] برای مدل‌سازی توزیع گونه در حوضه جنوبی دریای خزر به‌عنوان مطالعاتی آینده در زمینه زیستگاه ماهی سفید در حوضه جنوبی دریای خزر پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر بخشی از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد که از مدیران و متولیان دانشگاه به‌دلیل فراهم سازی زمینه و بستر لازم برای انجام این تحقیق کاربردی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. **امینیان‌فتیده، ب.؛ حسین‌زاده‌صحافی، ه.؛ شعبانی، ع.؛ یغمایی، ف. و شفیعی‌ثابت، س.، ۱۳۸۷.** تعیین مراحل رسیدگی جنسی ماهی سفید نر دریای مازندران با کمک شاخص‌های زیستی. نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم. سال ۸، شماره ۲، صفحات ۱۰ تا ۱۷.

۲. **رضوی‌صیاد، ب.، ۱۳۷۴.** ماهی سفید. موسسه تحقیقات و آموزش شیلات ایران. ۱۶۵ صفحه.

۳. **عبدلی، ا. و نادری، م.، ۱۳۸۷.** تنوع زیستی ماهیان حوضه جنوبی دریای خزر. انتشارات علمی آبزیان. ۲۳۷ صفحه.

۴. **فضلی، ح.؛ کر، د. و دریانبرد، غ.، ۱۳۹۳.** پراکنش زمانی و مکانی ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) در سواحل ایرانی دریای خزر. مجله علمی شیلات ایران. سال ۲۳، شماره ۱، صفحات ۶۳ تا ۷۴.

۵. **مالچفسکی، ی.، ۱۳۹۲.** سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری. ترجمه اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده، انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت). چاپ سوم.

۶. **موسوی، ز.، ۱۳۸۹.** استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره در محیط GIS برای زون‌بندی منطقه ناژوان در شهر اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته محیط‌زیست، دانشکده شیلات، مرتع و محیط زیست، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. صفحات ۷ تا ۱۰.

۷. **مومنی، ا.، ۱۳۹۰.** انتخاب سیستماتیک لکه‌های حفاظتی استان گلستان با استفاده از الگوریتم مذاب‌سازی شبیه‌سازی شده. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد محیط زیست. دانشگاه تهران. ۱۴۰صفحه.

۸. **ولی‌پور، آ. و خانی‌پور، ع.آ.، ۱۳۸۸،** ماهی سفید جواهر دریای خزر. انتشارات مرکز تحقیقات شیلات، تهران.

۹. **Abdolhay, H.; Daud, S.; Rezvani Ghilkolahi, S.; Pourkazemi, M.; Siraj, S. and Abdul Satar, M., 2011**. Fingerling production and stock enhancement of Mahisefid (*Rutilus frisii kutum*) lessons for others in the south of Caspian Sea. Reviews in Fish Biology and Fisheries. Vol. 21, pp: 247-257.

۱۰. **Anderson, M.C.; Watts, J.M.; Freilich, J.E.; Yool, S.R.; Wakefield, G.L.; Mccaulery, J.F. and Fahnestock, A., 2000.** Regression- tree modeling of desert tortoise habitat in the central Mojave Desert. Ecological Applications. Vol. 10, pp: 890-897.

[1] MPAs- Marine Protected Areas

[2] Random Forest

[3] ANN- Artificial Neural Network

١١. **Bani, A. and Haghi Vayghan, A., 2011.** Temporal variations in haematological and biochemical indices of the Caspian kutum, *Rutilus frisii kutum*. Ichthyological Research. Vol. 58, No. 2, pp: 126-133.

١٢. **Bartoszewicz, M.; Okarma, H.; Zalewski, A. and Szczęsna, J., 2008.** Ecology of the raccoon (*Procyon lotor*) from western Poland. Annales Zoologici Fennici. Vol. 45, No. 4, pp: 291-298.

١٣. **Birol Kara, A.; Wallcraft, A.J.; Metzger, E.J. and Gunduz, M., 2010.** Impacts of freshwater on the seasonal variations of surface salinity and circulation in the Caspian Sea. Continental Shelf Research. Vol. 30, pp: 1211-1225.

١٤. **Burrough, P.A., 1989.** Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. Journal of Soil Science. Vol. 40, pp: 477-492.

١٥. **Crec'hriou, R.; Bonhomme, P.; Criquet, G.; Cadiou, G.; Lenfant, P.; Bernard, G.; Roussel, E.; Le Dire ´ach L. and Planes, S., 2008**. Spatial patterns and GIS habitat modelling of fish in two French Mediterranean coastal areas. Hydrobiologia. Vol. 612, pp: 135-153.

١٦. **Eastman, R.J., 2015**. TerrSet Manual, Worcester, MA: Clark University. 392 p.

١٧. **Eastman, R.J., 2012.** Idrisi guid to GIS and Image processing. Accessed in Idrisi Selva 17.00, Worcester, MA: Clark University. 354 p.

١٨. **Eckert, S.A.; Moore, J.E.; Dunn, D.C.; Buiten, R.S.; Eckert, K.L. and Halpin, P.N., 2008**. Modeling loggerhead turtle movement in the mediterranean: importance of body size and oceanography. Ecological Applications, Vol. 18, pp: 290-308.

١٩. **Fazli, H.; Daryanabard, G.; Salmanmahiny, A.; Abdolmaleki, S.; Bandani, G. and Afraei Bandpei, M., 2012.** Fingerling release program, biomass trend and evolution of the condition factor of Caspian Kutum during the 1991-2011 period. Cybium. Vol. 36, pp: 545-550.

٢٠. **Foley, M.M.; Halpern, B.S.; Micheli, F.; Armsby, M.H.; Caldwell, M.R.; Crain, C.M.; Prahler, E.; Rohr, N.; Sivas, D.; Beck, M.W.; Carr, M.H.; Crowder, L.B.; Emmett, J.; Hacker, S.D.; McLeod, K.L.; Palumbi, S.R.; Peterson, C.H.; Regan, H.M.; Ruckelshaus, M.H.; Sandifer, P.A. and Steneck, R.S., 2010.** Guiding ecological principles for marine spatial planning. Mar Policy. Vol. 34, pp: 955-966.

٢١. **Frouin, R. and Murakami, H., 2007**. Estimating photosynthetically available radiation at the ocean surface from ADEOS-II global imager data. Journal of Oceanography. Vol. 63, No. 3, pp: 493-503.

٢٢. **Granados-Dieseldorff, P., 2009.** A GIS-based spatial model for predicting habitat suitability for juvenile mutton snapper (*Lutjanus analis*) in Belize. In: Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Vol. 61, pp: 191-197.

٢٣. **Hall, S.J., 1998.** The effects of fishing on marine ecosystems and communities. Blackwell Science, Oxford.

٢٤. **Karpinsky, M.G., 2010**. Review: the Caspian Sea benthos: unique fauna and community formed under strong grazing pressure. Marine Pollution Bulletin. Vol. 61, No. 4-6, pp: 156-161.

٢٥. **Kostianoy A.G. and Kosarev, A.N., 2005**. The Caspian Sea Environment, Springer Science and Business Media. Vol. 5.

٢٦. **Mack, E.L.; Firbank, L.G.; Bellary, P.E.; Hinsley, S.A. and Veitch, N., 1997.** The comparison of remotely sensed and ground based habitat area data using species area models. applied ecology. Vol. 34, pp: 1222-1228.

٢٧. **MacMillana, H.; Moorea, A.; Augéa, A. and Chilversd, L., 2016**. IS-based multi-criteria analysis of breeding habitats for recolonising species: New Zealand sea lions. Ocean and Coastal Management. Vol. 130, pp: 162-171.

٢٨. **Mahini, A.S. and Gholamalifard, M., 2006.** Siting MSW landfills with a weighted linear combination methodology in a GIS environment. International Journal of Environmental Science and Technology. Vol. 3, No. 4, pp: 435-445.

٢٩. **Mehri, A.; Salmanmahiny, A.; Mirkarimi, S.H. and Rezaei, H.R., 2014**. Use of optimization algorithms to prioritize protected areas in Mazandaran Province of Iran. Journal for Nature Conservation. Vol. 22, No. 5, pp: 462-470.

٣٠. **Nasrollahzadeh, A., 2010.** Caspian Sea and its ecological challenges. Caspian Journal of Environmental Sciences. Vol. 8, pp: 97-104.

٣١. **Ouraji, H.; Khalili, K.; Ebrahimi, G. and Jafarpour, S., 2011**. Determination of the optimum transfer time of kutum (*Rutilus frisii kutum*) larvae from live food to artificial dry feed. Aquaculture International. Vol. 19, pp: 683-691.

٣٢. **Paudel, P.K.; Hais, M. and Kindlmann, P., 2015**, Zoological Studies,54:37. Doi:10.1186/s40555-015-0116-٩.

٣٣. **Pikitch, E.K.; Santora, C.; Babcock, E.A.; Bakun, A.; Bonfil, R. and Conover, D.O., 2004**. Ecosystem based fishery management. Science. Vol. 305, pp: 346-347.

٣٤. **Roberts, J.J.; Best, B.D.; Dunn, D.C.; Treml, E.A. and Halpin, P.N., 2010**. Marine geospatial ecology tools: An integrated framework for ecological geoprocessing with ArcGIS, Python, R, MATLAB, and C++. Environmental Modelling and Software. Vol. 25, pp: 1197-1207.

٣٥. **Saravi Nasrollahzadeh, H.; Din, Z.B.; Foong, S.Y. and Makhlough, A., 2008**. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. Continental Shelf Research. Vol. 28, pp: 1153-1165.

٣٦. **Schmucker, K.J., 1982.** Fuzzy Sets, natural language computations and risk analysis (Computer Science Press). pp: 7.

٣٧. **Sparrevohn, C.R.; Dinesen, G.E.; Andersen, J.H. and Reker, J.B., 2008**. Spatial prediction of nursery grounds for juvenile flatfish in the Danish Kattegat: From: Mapping and modeling of marine habitats in the Baltic Sea region. BALANCE. BALANCE Interim Report. No. 27.

۳۸. **Stevick, P.T.; McConnell, B.J. and Hammond, P.S., 2002.** Patterns of movement. In: Hoelzel, A.R. (Ed.), Marine Mammal Biology: An Evolutionary Approach. Blackwell Science, Oxford.

۳۹. **Taheri, M.; Foshtomi, M.; Noranian, M. and Mira, S., 2012**. Spatial distribution and biodiversity of macrofauna in the southeast of the Caspian Sea, Gorgan Bay in relation to environmental conditions. Ocean Science Journal. Vol. 47, pp: 113-122.

۴۰. **Valavanis, V.D.; Georgakarakos, S.; Kapantagakis, A.; Palialexis, A. and Katara, I., 2004**. A GIS environmental modelling approach to essential fish habitat designation. Ecological Modelling. Vol. 178, No. 3-4, pp: 417-427.

۴۱. **Valavanis, V.; Pierce, G.; Zuur, A.; Palialexis, A.; Saveliev, A.; Katara, I. and Wang, J., 2008**. Modelling of essential fish habitat based on remote sensing, spatial analysis and GIS. Hydrobiologia. Vol. 612, No. 1, pp: 5-20.

۴۲. **Valavanis, V.D.; Georgakarakos, S.; Koutsoubas, D.; Arvanitidis, C. and Haralabous, J., 2002**. Development of a marine information system for Cephalopod fisheries in the Greek Seas (Eastern Mediterranean). Bull Mar Sci. Vol. 71, pp: 867-882.

۴۳. **Vayghan, A.H.; Zarkami, R.; Sadeghi, R. and Fazli, H., 2016**. Modeling habitat preferences of Caspian kutum, *Rutilus frisii kutum* (Kamensky, 1901) (Actinopterygii, Cypriniformes) in the Caspian Sea. Hydrobiologia. Vol. 766, No. 1, pp: 103-119.

۴۴. **Vayghan, A.H.; Poorbagher, H.; Shahraiyni, H.T.; Fazli, H. and Saravi, H.N., 2013.** Suitability indices and habitat suitability index model of Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) in the southern Caspian Sea. Aquatic Ecology. Vol. 47, No. 4, pp: 441-451.

۴۵. **Voogd, H., 1983.** Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Pion, Ltd., London.